

## บทที่ 2

### ตรวจเอกสาร

#### การสังเคราะห์แสงในพืช

แสงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานเคมี และเก็บสะสมไว้ในรูปของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีน้ำตาลและแป้ง ปริมาณแสงที่ส่องมายังต้นพืชในแต่ละวันจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ตำแหน่งละติจูด ช่วงเวลา ฤดูกาล การบังแสง หรือสภาพร่มเงา และปัจจัยร่วมอื่นๆ เมื่อพืชได้รับปริมาณแสง หรือความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น จะพบว่า การสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับถ้าปัจจัยอื่นไม่เป็นตัวจำกัด และถ้าพืชได้รับแสงน้อยการสังเคราะห์แสงก็จะลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตทางลำต้น และใบลดลงด้วย (Gardner *et al.*, 1985)

การสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการที่พืชทำการเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาเป็นสารประกอบคาร์บอนพวงน้ำตาลและแป้ง โดยมี  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นแหล่งวัตถุดิบ และสารประกอบนี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ของพืช โดยกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงาน ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์แสงทั้งหมดของพืชเกิดในคลอโรพลาสต์ โดยในคลอโรพลาสต์จะประกอบด้วยสารสีเขียวที่เรียกว่า ที่เรียกว่า คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการดูดซับแสงเพื่อการสังเคราะห์แสง โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ คือ

1. Diffusion process เป็นกระบวนการไหลซึมของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากบรรยากาศผ่านปากใบเข้ายังศูนย์กลางการสังเคราะห์แสงของพืช
2. Photochemical process เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี (ATP, ADPH)
3. Biochemical process เป็นกระบวนการที่  $\text{CO}_2$  ถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์โบไฮเดรต โดยใช้พลังงานเคมี ATP และ NADPH จาก Photochemical process

Vityakon *et al.*, (1993) ได้ศึกษาระดับการบังแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์ กข 6 พบว่า ผลของการบังแสงสูงทำให้ผลผลิตของข้าวลดลง องค์ประกอบผลผลิตต่างๆ ลดลง มีจำนวนเมล็ดตึบเพิ่มมากขึ้น และยังทำให้ความสูงของต้นเพิ่มขึ้น

Conocono *et al.*, (1998) พบว่า การบังแสงในข้าวมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตในใบแต่ละวันเพิ่มขึ้นทั้งปริมาณ soluble sugar และแป้ง โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในรอบวัน อย่างไรก็ตามเมื่อข้าวได้รับการบังแสงในช่วงระยะสะสมแป้ง หรือ 10 วันหลังแทงช่อดอกพบว่า การบังแสงไม่มีผลต่อการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ด แต่ถ้าข้าวได้รับปริมาณแสงน้อยในระยะสะสมน้ำหนักของเมล็ด จะมีผลต่อจำนวนเมล็ดดี และน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวที่ได้ต่ำ (Kobata *et al.*, 2000)

### การเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ (Translocation)

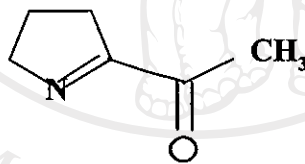
สารสังเคราะห์พวกแป้งหรือน้ำตาล เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง สารสังเคราะห์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาบางส่วนจะถูกเก็บที่ไว้ที่แหล่งผลิตเพื่อการมีชีวิต และบางส่วนจะถูกส่งออกไปเพื่อการเจริญของอวัยวะส่วนอื่นๆ ของต้น ปริมาณสารสังเคราะห์ที่เก็บสะสมไว้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ในส่วนของการลำเลียงและถ่ายเทสารสังเคราะห์ในระหว่างการเจริญของพืชนั้น พืชมีกลไกในการควบคุมและกำหนดแหล่งที่สังเคราะห์แสง (Source) โดยแหล่งที่รับหรือใช้สารสังเคราะห์ (Sink) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว Sink ส่วนใหญ่จะได้รับสารสังเคราะห์จาก Source ที่อยู่ใกล้ที่สุดเป็นอันดับแรก เช่น ใบบน ก็จะส่งต่อไปยังยอด (Gardner *et al.*, 1985)

ในพืชตระกูลหญ้าพบว่า ใบอ่อนหรือใบที่ยังเจริญไม่เต็มที่ มีความจำเป็นต้องอาศัยสารสังเคราะห์จากใบอื่นมาเลี้ยงจนกว่าตัวเองจะสามารถสร้างสารสังเคราะห์ได้เพียงพอ โดยเฉพาะในระยะการแตกหน่อ แตกแขนง หรือกิ่งก้าน ในขณะที่พืชยังเป็นต้นอ่อน มีความต้องการสารสังเคราะห์จากต้นแม่ (Main stem) จนกว่าตัวเองจะสามารถสร้างสารสังเคราะห์ได้เพียงพอ ส่วนในด้านการถ่ายเทสารสังเคราะห์ในระหว่างการสะสมน้ำหนักเมล็ด สารสังเคราะห์ที่ถูกส่งไปสะสมในเมล็ดได้มาจาก 3 ทางด้วยกัน คือ ได้จากการสังเคราะห์แสงของใบ (ที่มีสีเขียว) ในขณะนั้นได้จากการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นจากส่วนที่มีสีเขียวอื่นของต้นนอกเหนือไปจากใบ และได้จากสารสังเคราะห์ที่เก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช จากการศึกษาในข้าวสาทิและข้าวบาร์เลย์ พบว่า ใบธง (flag leaf) ช่อรวงและต้น เป็น Source ที่อยู่ใกล้เมล็ด มีบทบาทสำคัญในการส่งสารสังเคราะห์ไปที่เมล็ด ส่วนใบล่างก็จะส่งสารสังเคราะห์ไปเลี้ยงลำต้นส่วนล่าง โดยสารสังเคราะห์ที่ถูกเก็บสะสมไว้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน ซึ่งสารเหล่านี้จะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นสารชนิดอื่นและเคลื่อนย้ายไปสะสมยังส่วนต่างๆ ของพืชได้อีก ในธัญพืชหลายชนิดมีช่อรวงอยู่ในตำแหน่งที่เอื้ออำนวยต่อการรับแสง และการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นผลดีต่อการสะสมน้ำหนักเมล็ด เพราะสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากช่อรวงก็จะถูกส่งไปยังเมล็ดที่อยู่ใกล้ที่สุด (เฉลิมพล, 2542)

Bradford (1994) กล่าวว่า ความสามารถในการสร้างเมล็ดขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนย้าย สารอาหารที่พืชสะสมไว้ในช่วงก่อนออกดอก และมีการถ่ายเทสารสังเคราะห์เหล่านั้นไปสู่เมล็ด ภายหลังระยะออกดอก Yoshida (1981); Watanabe *et al.*, (1997) กล่าวว่าในข้าว สารสังเคราะห์ พวกคาร์โบไฮเดรต ที่เหลือจากการใช้เพื่อการเจริญเติบโตในช่วงก่อนออกรวง จะถูกเก็บสะสมไว้ ในรูปแป้งในกาบใบ และลำต้นข้าว และแป้งที่ถูกเก็บสะสมไว้นี้จะส่งถ่ายไปที่รวงข้าวเพื่อนำมาใช้ ในการพัฒนาของเมล็ด

### สารให้ความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105

สารหอม 2AP มีลักษณะ โครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบในกลุ่ม pyrrole คือ วงแหวน 5 เหลี่ยมที่มีไนโตรเจนอยู่ในวง เป็นพันธะคู่ (C=N) และมีหมู่ acetyl เกาะอยู่กับคาร์บอนใน ตำแหน่งที่ 2 ของวง (ภาพที่ 1) มีสูตรโมเลกุลคือ  $C_6H_9NO$  มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 111.143 สารหอม 2AP เป็นของเหลวใสไม่มีสี และเนื่องจากเป็นสารประกอบไนโตรเจนทำให้สารนี้มีคุณสมบัติเป็น เบสเล็กน้อย นอกจากนี้ยังเป็นสารที่ระเหยง่ายและไม่ค่อยเสถียร จากการทดสอบกลิ่นของสารหอม ในน้ำกลั่นเทียบกับความหอมในข้าวหุงสุกพันธุ์ Malagkit sungsong พบว่า กลิ่นของสารหอม 2AP มีกลิ่นคล้ายกับข้าวโพดคั่ว (Buttery *et al.*, 1983)



ภาพที่ 1 สารหอม 2-acetyl-1-pyrroline

Buttery and Ling (1982) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ที่เป็นสารให้ความหอม ในข้าว พบว่า 2-acetyl-1-pyrroline เป็นสารหลักที่ให้ความหอมในข้าว ซึ่งพบในข้าวหอมและไม่ หอมบางพันธุ์ จึงได้นำเทคนิคทางเคมีมาประยุกต์เพื่อตรวจสอบความหอม โดยวัดปริมาณสารหอม ดังกล่าวในเมล็ดข้าวนอกจากจะมีสารหอม 2-acetyl-1-pyrroline แล้วยังมีสารหอมระเหยอื่นๆ อีก มากกว่า 100 ชนิด ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน 13 ชนิด กรดอินทรีย์ 14 ชนิด แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ ดีโตน เอสเทอร์ ฟีนอล และสารอื่นๆ (Yajima *et.*, 1979; Buttery *et al.*, 1983)

Mahatheeranont *et al.* (2001) ได้ศึกษาสารระเหยในสารสกัดของข้าวกล้องดิบพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าสารระเหยมากกว่า 140 ชนิด เป็นองค์ประกอบของสารสกัดที่มีกลิ่นหอมที่ได้จากการสกัดข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 โดยวิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายในสภาพความดันต่ำ และได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสาร 2AP ในข้าวไม่หุงสุก โดยใช้การสกัดด้วยสารละลายกรด และตามด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งเป็นวิธีการสกัดที่ไม่ใช้ความร้อนก่อนที่จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gas chromatography (GC)

สารหอม 2AP เป็นสารหอมระเหยที่มีความดันไอสูง เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้าวสารที่เก็บไว้นานๆ จะมีความหอมลดลงจนใกล้เคียงกับข้าวพันธุ์ที่ไม่ใช่ข้าวหอม มีรายงานว่า ความหอมของข้าวจะมีระดับความหอมลดลงประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 3 เดือน เมื่อเก็บข้าวไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 84 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้าวเปลือกพบว่าสามารถเก็บรักษาความหอมไว้ได้ดีกว่าข้าวกล้องและข้าวสาร (พัศกร, 2546)

Buttery *et al.* (1986) ได้ศึกษาการวิเคราะห์เชิงปริมาณของสารหอมในพันธุ์ข้าวหอมและพันธุ์ข้าวไม่หอม โดยใช้วิธีการสกัดด้วยไอน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์แบบต่อเนื่อง และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซลิควิด โครมาโตกราฟี พบว่า ข้าวหอมที่ยังไม่ได้ขัดสีจะมีปริมาณ 2AP อยู่ในช่วง 0.1 - 0.2 ppm และในข้าวที่ขัดสีแล้วจะมีปริมาณ 0.04 - 0.09 ppm แต่ข้าวที่ไม่หอมจะมีปริมาณน้อยมากคือ 0.006 - 0.008 ppm นอกจากนี้ยังพบรายงานยืนยันว่า 1-pyrroline และ 2-oxopropanal เป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สาร 2AP (Hofmann *et al.*, 1998) การศึกษาของ Tressl *et al.*, (1985) พบว่า การสะสมปริมาณของสาร 2AP จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารโพรลีนที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตภายในพืช โดยสารโพรลีนเป็นตัวกลางร่วมในปฏิกิริยาการสังเคราะห์สาร 2AP

Yoshihashi *et al.*, (2002) รายงานว่า สารหอม 2AP ไม่ได้เกิดขึ้นในระหว่างการหุงต้ม หรือการแปรรูปข้าวหอมหลังการเก็บเกี่ยว แต่การสังเคราะห์สารกลิ่นหอม 2AP เกิดขึ้นภายในต้นข้าวระหว่างการปลูก ซึ่งบริบูรณ์ และคณะ (2542) กล่าวว่า ความหอมของข้าวกล้อง ข้าวสาร ข้าวสุกไม่ได้รับผลกระทบจากการใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยในโตรเจนในอัตราที่สูงไม่สามารถทำให้ความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตาม อำนาจและคณะ (2539ข) กล่าวว่า การใส่ปุ๋ยในโตรเจนต้องไม่สูงจนเกินอัตราที่ให้ผลผลิตข้าว 80 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตสูงสุด จะไม่ทำให้ความหอม และความเลื่อมมันของข้าวสุกเปลี่ยนแปลง

อำนาจ (2539ก) รายงานว่า ความหอม และความนุ่มของข้าวจะสูงสุด เมื่อข้าว ได้รับธาตุฟอสฟอรัสในระดับที่ให้ผลผลิตข้าวเปลือกใกล้จนถึงจุดสูงสุด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของดินหลายประการที่มีผลต่อการเพิ่มคุณภาพความหอมในข้าว เช่น ธาตุฟอสฟอรัส โซเดียม และความเค็มของดิน เป็นต้น

อำนาจ และคณะ (2540) ศึกษาผลของปุ๋ยกำมะถันต่อคุณภาพของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการวัดคุณภาพของข้าวสุกโดยวิธีสัมผัส พบว่า การใส่ดินที่มีธาตุกำมะถันจำทำให้ความหอม ความนุ่ม ความขาว ความเหนียว และความเลื่อมมันของข้าวสุกดีขึ้น แต่ถ้าใส่มากจะทำให้คุณภาพของข้าวสุกลดลง

ประเทศและคณะ (2535) ศึกษาการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่างๆ ตั้งแต่ไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน(0-6-3) จนถึงใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงสุดที่ 10 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ ผลการทดลองพบว่า จากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราต่างๆ ไม่มีผลต่อปริมาณสารหอมในข้าว นอกจากนี้ประเทศและคณะ (2532) ยังทำการศึกษาอิทธิพลของวันปลูกและปุ๋ยเคมีที่มีต่อปริมาณสารหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยทำการปลูกข้าวในกระถางบรรจุดินเหนียวที่มีความเป็นกรด เบส ระหว่าง 4.9-5.8 และจัดให้มีการวิธีในการทดลองใส่ปุ๋ย และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า ความหอมของข้าวไม่แตกต่างกัน

บริบูรณ์และคณะ (2538) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหอม กับธาตุอาหารในดิน และคุณสมบัติของดิน พบว่า ข้าวกล้องของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จะหอมมากขึ้น เมื่อดินมีความเป็นกรด-ด่างสูง และความหอมจะลงถ้ามีธาตุทองแดงมาก ในขณะที่เดียวกันความหอมของข้าวสุกก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุฟอสฟอรัส และอนุโมลซิลเฟต ซึ่งถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้ข้าวสุกหอมมาก อย่างไรก็ตามถ้าปลูกข้าวในดินที่มีธาตุเหล็กมาก ก็จะทำให้ความหอมของข้าวสุกลดลง

#### ผลความเครียดน้ำที่มีต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของข้าว

Levitt (1980) ได้อธิบายลักษณะความเครียดน้ำของพืช (water stress) ว่า พืชสามารถเกิดความเครียดน้ำได้ 2 สาเหตุด้วยกัน คือ เมื่อพืชได้รับน้ำไม่เพียงพอ หรือ เมื่อพืชขาดน้ำ (water deficit) และ เมื่อพืชได้รับน้ำมากเกินไป (water excess) สายันต์ (2537) รายงานว่า การขาดน้ำมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เช่น การพัฒนาพื้นที่ใบ การเปิดปิดของปากใบ การสังเคราะห์แสง และการปรับออสโมติกในเซลล์ของใบพืช และการขาดน้ำเป็นครั้งต่างๆของพืช เมื่อพืชได้รับน้ำฝนอีกครั้ง พืชสามารถคืนน้ำไปใช้หลังจากสภาวะขาดน้ำ ทำให้พืชสามารถฟื้นตัวและดำเนินกระบวนการทางสรีรวิทยาต่อไปได้ และในทำนองเดียวกัน ถ้าหากพืชรับน้ำมากเกินไป เช่น ปลูกในสภาพที่ดินมีน้ำท่วมขัง หรือเกิดสภาวะน้ำท่วมก็จะมีผลกระทบต่อการผลิตพืชได้โดยที่ดินจะขาดก๊าซออกซิเจน และมีปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสูง ทำให้พืชเกิดความเครียดขึ้น เนื่องจากรากพืชขาดก๊าซออกซิเจนที่ไปใช้ในการเจริญเติบโต (จ๊กกรี, 2539) จากการศึกษาของ Opik (1973) พบว่าในสภาพที่ต้นข้าวขาดก๊าซออกซิเจน จะทำให้จำนวนเซลล์,

น้ำหนักแห้ง และปริมาณของไนโตรเจนในยอดอ่อน (coleoptile) มีน้อยลงไป แม้ว่าจะมีการแบ่งตัวของเซลล์ และมีการเคลื่อนย้ายสารประกอบไปยังส่วนยอดอ่อนเกิดขึ้นก็ตาม

ภายใต้สภาวะเครียดของพืช พืชจะมีการสังเคราะห์และสะสมสารโพรลีนเพิ่มมากขึ้น (Gzik, 1996 and Lin *et al.*, 1996) โดยสารโพรลีน เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่อยู่ในรูปการสะสมของสารประกอบไนโตรเจน โดยสารประกอบโพรลีนจะเป็นตัวที่ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Nitrate reductase (NR) ซึ่งเอนไซม์นี้เป็นเอนไซม์ที่สำคัญต่อการสร้างสารประกอบไนเตรต เพื่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเอนไซม์นี้จะลดประสิทธิภาพลงถ้าหากพืชเกิดสภาวะ water stress โดยการลดลงของเอนไซม์ NR นี้จะมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนและลดการสร้างสารประกอบพวกโปรตีน (Mattas and Pauli, 1965) หากพืชเกิดสภาวะ water stress สารโพรลีนจะช่วยทำให้เอนไซม์ดังกล่าวยังคงมีประสิทธิภาพในการทำงานอยู่เมื่อพืชขาดน้ำ ทำให้พืชรักษาศักยภาพของน้ำในเซลล์ไว้ได้ (Sinha and Rajagopal, 1978) Pandey *et al.*, (1998) รายงานว่าพืชเมื่ออยู่ในสภาวะแห้งแล้งจากฝนทิ้งช่วง ภายใต้สภาพความเครียดน้ำจะมีปริมาณสารโพรลีนเพิ่มขึ้น Delauney and Verma (1993) อ้างโดย Zhu *et al.*, (1998) รายงานว่า การสะสมปริมาณสารโพรลีนจะเกี่ยวข้องกับการทนต่อสภาพการขาดน้ำ และความเค็ม ซึ่งอยู่ภายใต้สภาพความเครียดของพืชในช่วงระยะการเจริญเติบโตของเมล็ด พืชที่มีชีวิตทนทานต่อสภาพแห้งและเค็ม พืชจะมีการสะสมของปริมาณสารโพรลีนทั้งในดอก และผล (Savoure *et al.*, 1995, Fujita *et al.*, 1998 and Stines *et al.*, 1999 อ้างโดย Igarashi *et al.*, 2000)

Sarker *et al.*, (1999) ศึกษาการตอบสนองของข้าวสาลี 4 พันธุ์ ในสภาพการให้น้ำชลประทานและสภาพอากาศน้ำฝน พบว่า ในสภาพอากาศน้ำฝน พืชจะมีปริมาณสารโพรลีนและน้ำตาลในใบสูง เมื่อพืชอยู่ในสภาวะแห้งแล้งที่เกิดจากฝนทิ้งช่วง ซึ่งแตกต่างจากการให้น้ำแบบชลประทาน Munns *et al.*, (1979) กล่าวว่า ข้าวสาลีเมื่อขาดน้ำจะมีการสะสมของโพแทสเซียม น้ำตาลและกรดอะมิโน เกิดขึ้นบริเวณส่วนยอดและใบ และในข้าวฟ่างที่ขาดน้ำ พบว่า มีการสะสมของคลอไรด์ กรดคาร์บอกซิลิก และสารละลายเช่นเดียวกับในข้าวสาลี